

수정된 Steiner Point를 이용한 Batcher Plant의 최적 위치 선정

(Optimal location of Batcher Plant using Modified Steiner point)

하권열* · 이상중**

(Kwon-Yeol Ha · Sang-Joong Lee)

Abstract

REMICON(Ready Mixed Concrete), the most essential material of construction work, is produced from facility called "Batcher plant." In order to produce Remicon, Batcher Plant needs to be supplied with basic raw material such as ballast, sand, cement, admixture and water. In remicon industry, overland transport vehicles are used during the whole manufacturing process from producing to infilling at the construction site. Thus, the transportation cost sums up be to 20 percent of whole manufacturing cost and transport capacity and distance travelled have direct and major effect on manufacturing costs.

This paper suggests a method to find optimal location of batcher plant using modified Steiner point, suggesting the most effective and flexible connection through among construction site, aggregate, cement and remicon producing plant. This paper also proposes reducing of transport cost at maximum 60% by calculation through optimized plant location.

The modified Steiner point theory proposed in this paper also can be applied to optimal location of a 2nd substation or MCC panel for minimizing of power loss, voltage drop, line distance and etc.

Key Words : Steiner Tree, Modified Steiner Point, Batcher Plant, Optimal Location

1. 서 론

레미콘이란 Ready Mixed Concrete의 약자로써 기초원자재인 자갈, 모래, 시멘트, 혼화제 등의 원료를

* Main author : Senior Manager, Electrical-Mechanical Dept. Sampyo Industry

** Corresponding author : Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Electrical Engineering, Professor, PE

Tel : 02-970-6411, Fax : 02-978-2754

E-mail : sjlee@seoultech.ac.kr

Received : 2015. 7. 3

Accepted : 2015. 8. 17

공급받아 저장설비에 저장하고, 이를 계량 및 혼합 시설을 갖춘 Batcher Plant(이하 B/P)라는 제조 설비에서 KS F-4009에 규정된 제조 방법으로 물과 함께 혼합한 후 믹서 트럭(Mixer Truck)으로 공사현장까지 운반되고, 주로 펌프카를 사용하여 현장에서 타설하는 굳지 않은 유연한 상태의 콘크리트를 말한다[1]. 레미콘 산업은 원료를 공급받아 제품을 생산하고 현장에 타설 하기까지 모두 차량이 이용되기 때문에 제조업과 운송업의 양면성을 가지고 있다. 또한 레미콘의 수요는 주로 도심지에서 발생하고 있고, 원료의 공급

및 제조시설은 공해 발생의 영향으로 대부분 도시 외곽에 위치하고 있어 수송능력과 제조원가에 영향을 주는 운반 거리에 매우 민감하다[2]. 따라서 건설현장, 골재, 시멘트 및 레미콘 공장 등을 유기적으로 가장 짧게 연결할 수 있는 Steiner Tree 이론을 먼저 고려해 볼 필요가 있다. 지금까지 Steiner Tree 이론은 우편물 교환센터의 최적 위치 선정[3], 전선의 최단거리 포설을 통한 공사비용 절감[4], 세 개 지점을 최단거리로 연결하는 전략기지의 위치 선정[5], Batch Plant의 최적 위치 선정[6], 전력 관리 본부의 최적 위치 선정[7] 등에 사용되었으나, B/P의 최적 위치 선정에 Weighting(가중치)을 감안하여 실제 운반비 계산에 적용한 사례는 없었다. 본 논문은 세 지점을 기하학적으로 가장 짧게 연결하는 Steiner Tree 이론 및 Weighting(가중치)을 감안한 수정된 Steiner Point를 적용하여 원료 운송비용이 최소화되는 B/P의 최적 위치 선정 기법을 제시하였다.

2. Steiner Tree의 개념과 길이비교

2.1 Steiner Tree 이론의 개념

Steiner Tree는 유한개의 점으로부터 이들과 가장 짧은 거리로 연결할 수 있는 최소 경로를 찾는 이론으로 과거 프랑스의 수학자 피에르 드 페르마(Pierre de Fermat, 1601-1665)와 이탈리아의 수학자 에반젤리스타 토리첼리(Evangelista Torricelli, 1608-1647) 등도 예각 삼각형에서 이 이론을 입증하였으나, 19세기 중반에 들어서 스위스의 수학자 자콥 스타이너(Jakob Steiner, 1796-1863)에 의하여 이를 보다 구체화하여 증명하였다. 이것은 세 점을 연결할 경우 Steiner Point라고 하는 한 개의 점을 추가하고 여기에 연결되는 세 가지(Branch)가 만드는 각도가 각각 120°가 될 때 이 세 점을 연결하는 가장 짧은 경로가 된다는 이론이다[3-7].

2.2 삼각형의 내심과 Steiner Point 비교

그림 1, 2는 한 변의 길이가 각 4, 5, 7인 삼각형이다.

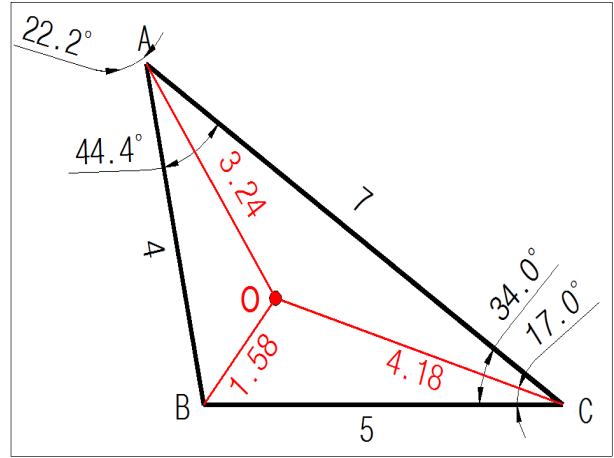


Fig. 1. Connecting vertices thru incenter O

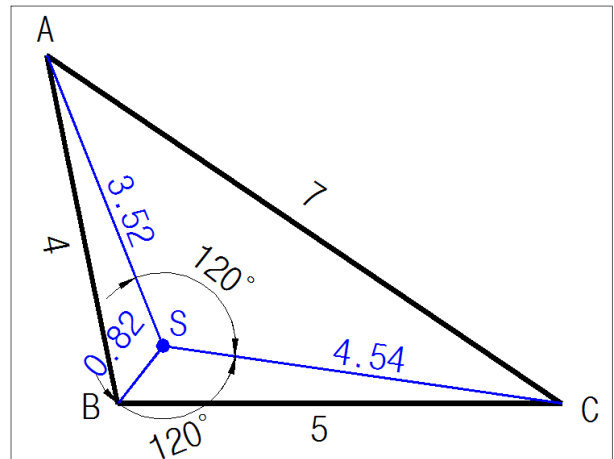


Fig. 2. Connecting vertices thru Steiner Point S

그림 1의 O는 삼각형의 내심 점이고, 그림 2의 S는 Steiner Point이다. 각 점 O와 S의 위치에서 삼각형의 세 꼭짓점을 연결하는 거리를 비교해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{점 C에서의 거리} \\ \overline{AC} + \overline{BC} = 5 + 7 = 12 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{내심 점 O에서의 거리} \\ \overline{AO} + \overline{BO} + \overline{CO} = 3.24 + 1.58 + 4.18 = 9 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Steiner Point S에서의 거리} \\ \overline{AS} + \overline{BS} + \overline{CS} = 3.52 + 0.82 + 4.54 = 8.88 \end{aligned} \quad (3)$$

상기 식 (1), (2), (3)으로부터 Steiner Point를 통하여 연결한 길이가 점 C에서보다 3.12 짧고, 내심을 통하여 연결한 길이 보다 0.12 짧다[6]. 따라서 Steiner Point S 점이 삼각형의 세 꼭짓점을 최단거리로 연결하는 점이라는 것을 알 수 있다.

3. Weighting을 감안한 수정된 Steiner Point

3.1 Weighting의 개념

Steiner Tree 이론은 세 가지(Branch)가 만드는 각도가 각각 120°가 되는 Steiner Point에서 세 점을 최단거리로 연결할 수 있는 경로가 된다고 설명하였다. 하지만 각각의 경로(ℓ, m, n)를 통과하는 Weighting 즉, 운반 횟수, 운반 단가, 도로 사정 등의 가중치가 서로 다르다면, 세 점을 연결하는 최단(최소비용) 경로인 Steiner Point는 이를 반영하여 그 위치를 수정해야 한다고 J. Tong과 Y. Chua가 증명하였다. 이 이론은 예각 삼각형에서 경로 ℓ, m, n의 가중치를 α, β, γ라 할 경우 αℓ + βm + γn을 최소화할 수 있는 수정된 Steiner Point를 기하학적으로 찾는 방법을 제시하고 있다[7-8].

3.2 Weighting을 감안한 수정된 Steiner Point 추적 및 비교

그림 3과 4는 각 변의 길이가 a=1, b=√3, c=2인 직각삼각형 ABC이다. 여기서 Steiner Point를 S, 각 꼭짓점에서 S까지의 거리를 ℓ, m, n, 그리고 각각의 Weighting을 α, β, γ라 하였다. 다음의 1), 2) 항은 각각의 Weighting을 감안한 수정된 Steiner Point를 찾고 그 길이를 비교하였다.

1) Weighting α : β : γ = 2 : √3 : 1의 경우

그림 3과 같이 α : β : γ의 weighting이 1 : 1 : 1로 같을 경우 ℓ, m, n이 각각 120°가 되는 점 S가 △ABC 세 꼭짓점을 연결하는 최단거리가 된다는 사실은

이미 확인하였다.

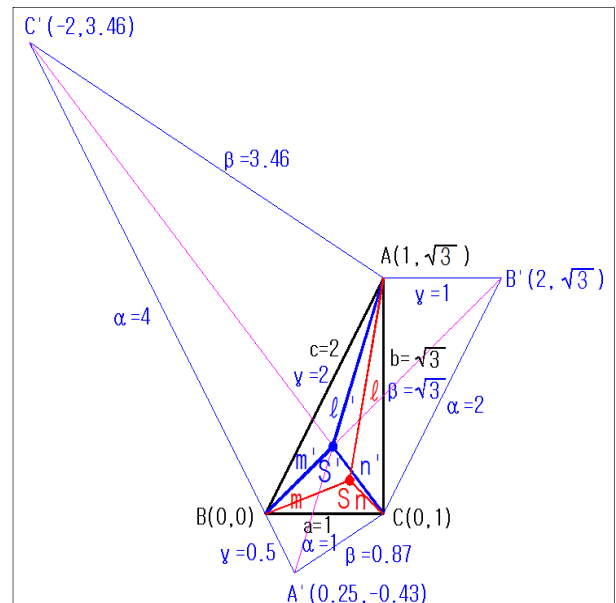


Fig. 3. For weighting α : β : γ = 2 : √3 : 1

하지만 α : β : γ의 weighting이 2 : √3 : 1로 주어진 경우 최단거리(최소비용)가 되는 Point는 S가 아니라 S'로 이동하게 된다. 이 S' Point는 다음과 같은 방법으로 찾을 수 있다. △ABC의 각 변 a, b, c를 한 번으로 갖는 새로운 삼각형 세 개를 △ABC 바깥에 그려서 △BCA', △ACB', △ABC'를 만든다. 이때 △ABC의 각 변 a, b, c는 새로운 삼각형을 만드는 변의 기준 값이다. 즉 $\overline{BC} : \overline{CA'} : \overline{A'B} = \overline{CB'} : \overline{AC} : \overline{AB} = \overline{BC} : \overline{CA} : \overline{AB} = \alpha : \beta : \gamma$ 의 비이므로, △ABC의 한 변을 기준 값으로 하는 바깥쪽 삼각형의 변의 비율을 2 : √3 : 1이 되도록 만들면 다음과 같다.

- ① a($\overline{BC} = 1$)를 한 변으로 갖는 △BCA'는 $\overline{BC} : \overline{CA'} : \overline{A'B} = 1(\alpha) : 0.87(\beta) : 0.5(\gamma)$ 이때 A'의 좌표는 0.25, -0.43
- ② b($\overline{AC} = \sqrt{3}$)를 한 변으로 갖는 △ACB'는 $\overline{CB'} : \overline{AC} : \overline{AB'} = 2(\alpha) : \sqrt{3}(\beta) : 1(\gamma)$ 이때 B'의 좌표는 2, √3
- ③ c($\overline{AB} = 2$)를 한 변으로 갖는 △ABC'는 $\overline{BC'} : \overline{CA} : \overline{AB} = 4(\alpha) : 3.46(\beta) : 2(\gamma)$ 이때 C'의 좌표는 -2, 3.46

상기 ①, ②, ③과 같이 만들어진 새로운 삼각형의 꼭짓점 A', B', C' 와 기존 삼각형의 꼭짓점 A, B, C 를 직선으로 연결하면 세 선이 만나는 점이 생기게 되는데 이 점이 곧 수정된 Steiner Point S' 이며, Weighting이 감안된 $\triangle ABC$ 의 세 꼭짓점을 최단거리(최소비용)로 연결할 수 있는 Route가 된다. $\triangle ABC$ 의 세 꼭짓점이 S 와 S' 점을 통과할 때 실제 길이(비용)의 차이를 비교하면 다음과 같다.

$$S = \ell \times 2(\alpha) + m \times \sqrt{3}(\beta) + n \times 1(\gamma) \quad (4)$$

$$= 1.51 \times 2 + 0.76 \times \sqrt{3} + 0.38 \times 1 \approx 4.72$$

$$S' = \ell' \times 2(\alpha) + m' \times \sqrt{3}(\beta) + n' \times 1(\gamma) \quad (5)$$

$$= 1.31 \times 2 + 0.76 \times \sqrt{3} + 0.65 \times 1 \approx 4.59$$

위의 식 (4)와 (5)를 계산한 결과 $\triangle ABC$ 의 세 꼭짓점이 Weighting을 감안한 수정된 Steiner Point S' 를 통과할 때 거리(비용)가 0.13 더 단축된다는 것을 알 수 있다. 또한 S' Point는 상대적으로 Weighting이 큰 ℓ branch에 접속된 점 A 측으로 치우치는 것도 알 수 있다[7-8].

2) Weighting $\alpha : \beta : \gamma = 1 : \sqrt{3} : 2$ 의 경우

그림 4는 $\alpha : \beta : \gamma$ 의 weighting이 $1 : \sqrt{3} : 2$ 로 주어진 경우이다.

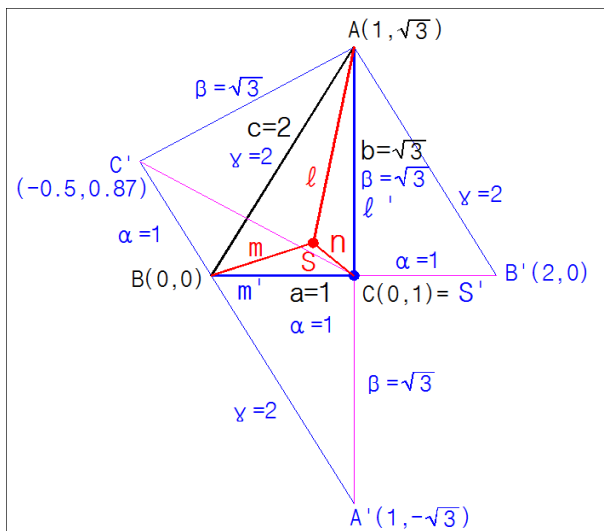


Fig. 4. For weighting $\alpha : \beta : \gamma = 1 : \sqrt{3} : 2$

그림 3에서 설명한 동일한 방법으로 그림 4의 수정된 Steiner Point S' 를 찾으면, $\triangle ABC$ 의 꼭짓점 C 에 일치하게 된다. 이것은 그림 4가 삼각형의 성립 조건 $\alpha \times a + \beta \times b > \gamma \times c$ 을 만족하지 못하고, 두 변의 합과 한 변의 길이가 $1(\alpha \times a) + 3(\beta \times b) = 4(\gamma \times c)$ 가 되어 수정된 Steiner Point S' 는 Weighting이 상대적으로 큰 n branch에 접속된 점 C 가 된다. 하지만 그림 3처럼 삼각형이 성립할 수 있는 조건에서는 $\triangle ABC$ 내부에 S' 가 존재한다[7-8]. 다음은 그림 4의 S 와 S' 점에서 길이(비용)의 차이를 비교한 것이다.

$$S = \ell \times 1(\alpha) + m \times \sqrt{3}(\beta) + n \times 2(\gamma) \quad (6)$$

$$= 1.51 \times 1 + 0.76 \times \sqrt{3} + 0.38 \times 2 \approx 3.59$$

$$C(S') = \overline{AC} \times 1(\alpha) + \overline{BC} \times \sqrt{3}(\beta) \quad (7)$$

$$= \sqrt{3} \times 1 + 1 \times \sqrt{3} \approx 3.46$$

위의 식 (6)과 (7)에서도 수정된 Steiner Point $C(S')$ 에서 역시 최소가 된다[7]. 이처럼 Steiner Tree 이론에 Weighting(가중치)을 감안하여 B/P 위치 선정에 응용한다면 공장 운영 시 발생하는 물류비용 등을 획기적으로 절감할 수 있다.

4. B/P의 운영현황

4.1 레미콘의 제조원가 비중

표 1은 실제 수도권에 설치되어 운영 중인 레미콘 공장의 제조원가 비중을 나타낸 표이다.

년 간 판매량이 452,000 m^3 일 때 레미콘 제조 원가 중 변동비가 차지하는 비중은 80.3%이고, 고정비 비중은 19.7%이다. 레미콘 제조에 필요한 원료인 자갈, 모래, 시멘트, 혼화제 등을 구매하여 제품을 생산한 후 이를 건설사에 공급하기 위한 재료, 운반, 유류비는 전체 원가 중 77.6%를 차지한다. 또한 레미콘 공업협회가 발표한 자료에 의하면 원료 구매비용을 제외한 레미콘 판매 단가 중 믹서 트럭의 운영비, 시멘트, 골재의 운반 및 저장에 소요되는 비용을 합하면 전체 원가의 약 20%에 해당된다.

Table 1. Cost of remicon manufacturing costs

년 생산량	452,000m ³		
	구 분	비 중	비 고
제 조 원 가	재료비(운반비포함)	63.4%	분체, 자갈, 모래 등
	M/T운반비(유류포함)	14.2%	용차 포함
	수선비	1.3%	
	전력비	0.8%	
	기타	0.7%	
	소 계	80.3%	
	고정비	인건비, 경비 등	19.7%
	합 계	100%	

4.2 수송 차량의 종류 및 운반비 책정

표 2는 레미콘 공장의 원료수급과 제품공급을 위하여 주로 사용하는 차량의 종류이다.

Table 2. Vehicles for materials/products supply

차 량	운 반 물	평균 적재량	비 고
벌크트럭	시멘트 류	28ton	
덤프트럭	골재	17m ³	단중 : 1.5ton/m ³
믹서트럭	레미콘	6m ³	

벌크 트럭은 일반적으로 B. C. T (Bulk Cement Truck)라고도 하며, Cement, Fly-Ash, Slag Powder 등의 분체를 수송하는 데 사용되고, 평균 적재량은 약 28 ton이다. 덤프트럭은 자갈, 모래 등 골재를 운반할 때 사용하며, 평균 적재량은 17m³(25.5ton)이다. 믹서트럭은 B/P에서 생산된 레미콘을 건설 현장까지 운송하는 데 사용하며, 적재 용량은 6m³이다. 표 3은 레미콘 공장의 원료 수급 및 제품 공급 시 일반적으로 적용되는 차량별 평균 운반단가이다.

Table 3. Average transportation cost of vehicles

차량	기 본 요 금		추 가 요 금		비 고
	거리	요금(원)	거리	요금(원)	
벌크	5km미만	2,500/ton	10km당	600/ton	도착도
덤프	-	-	km당	150/m ³	도착도
믹서	-	30,660/회전	km당	430	왕복

벌크 트럭의 운반비는 도착지가 5km 미만일 경우 기본요금 2,500원/ton, 5km 이상일 경우 기본요금 + 10km 초과마다 600원/ton이 가산된다. 덤프트럭의 경우 별도의 기본요금 없이 km당 평균 150원/m³ 적용한다. 믹서트럭은 기본요금 30,660원/회전 + 430원/km 왕복 거리를 적용하여 가산된다. 상기 표 3의 차량별 운반비는 납품 물량의 정도 및 운반여건 즉, 교통사정, 통행료, 복귀 시 추가 물량을 확보할 수 있는 경유지의 유무 등에 따라 다소 차이가 날 수 있지만, 이를 고려하지 않았다.

5. B/P의 최적 위치 선정

5.1 운반비 계산을 위한 조건설정

5.1.1 원료 수급 점의 위치

R을 서울에 위치한 레미콘 공장, F를 당진에 위치한 Fly_Ash 공장, C를 덕소에 위치한 Cement 출하기지, A를 파주에 위치한 골재생산 공장 그리고 S를 Steiner Point라 하여 그림 5와 같이 실제 공장의 위치를 지도상에 표시하였다.

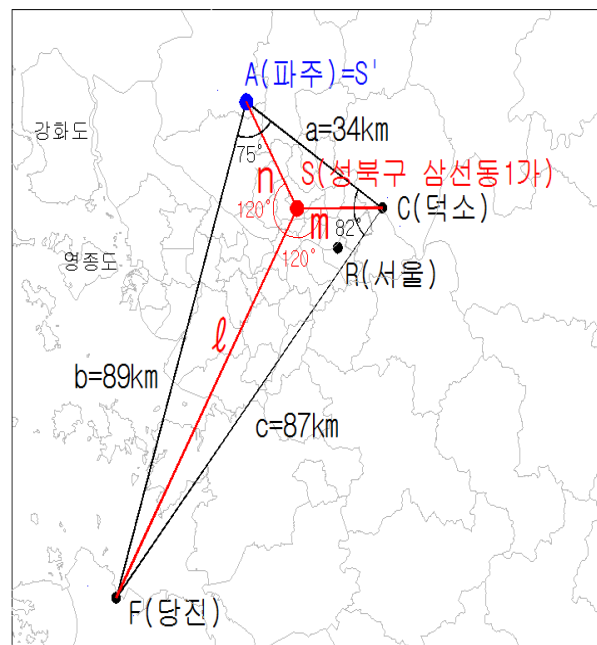


Fig. 5. Actual location of factories on the map

수정된 Steiner Point를 이용한 Batcher Plant의 최적 위치 선정

그림 5에서 S는 서울에 위치한 레미콘 공장 R에 원 재료를 공급하는 세 개의 공장(A, F, C)이 직선으로 연결된다고 가정하고 삼각형을 그려 측정한 결과이며, 성북구 삼선동 1가에 위치한다.

5.1.2 연간 원료 소요량 및 운반 거리

표 4는 R 공장의 연간 원료 소비량 및 운반 거리를 나타낸 표이며, 다음과 같은 조건으로 작성하였다.

Table 4. Yearly raw material consumption and total travel

구분	기준	C	FA	S(모래)
배합 비(Kg)	1m ³	168	35	899
소요량(Ton)	452,000m ³	75,936	15,820	406,348
벌크(대)	28Ton	3,955	565	-
덤프(대)	25.5Ton	-	-	15,935
실제거리(Km)	R Point	14	121	48
직선거리(Km)	R Point	12	75	31
	S' Point	18	76	21

① 배합 비

1m³ 기준의 재료별 혼합 무게(kg)이며, 판매량이 가장 많은 배합규격인 25 - 24 - 150 한 가지만을 생산한다고 가정하였다. 상기 배합규격에는 슬래그 파우더, 혼화제 및 자갈도 포함되어 있지만, 표 4에서는 배제하였다.

② 소요량

R 공장의 실제 연간 평균 생산량 452,000m³를 기준으로 배합 비에 대입하여 얻어진 원료 사용량(ton)

③ 벌크 대수

적재량 28 ton을 기준으로 환산한 년 간 운반 대수

④ 덤프 대수

적재량 25.5 ton을 기준으로 환산한 년 간 운반 대수

⑤ 실제거리

다음 지도상에서 R Point를 출발하여 각 원료 수급 지점까지 도로의 굴곡이 반영된 실제 거리

⑥ 직선거리

그림 5의 실제 지도상에서 R과 S Point로부터 각 원료 수급지점까지 측정한 직선거리

B/P 위치에 따른 운반비 계산 시 도로의 통행여건(통행료, 차량의 정체, 기타 도로 통행 사정 등)은 배제하였으며, 운반 도로는 그림 5와 같이 직선으로 가정하였고, 이 이외의 사항에 대해서는 최대한 실제 운영 조건과 동일하게 일치시켜 계산하였다.

5.2 B/P 위치에 따른 운반비 비교

5.2.1 R과 S Point에서의 운반비 계산

표 5와 표 6은 R과 S에서의 운반비 계산 결과이다.

Table 5. Calculation of transport cost from point R

원료	차량	거리 (km)	요금/대 (원)	대수	합계(원)
시멘트	벌크	12km	81,760	3,955	323,360,800
플라이애쉬	벌크	75Km	187,600	565	105,994,000
모래	덤프	31Km	79,050	15,935	1,259,678,800
합계					1,689,033,600

Table 6. Calculation of transport cost from point S

원료	차량	거리 (km)	요금/대 (원)	대수	합계(원)
시멘트	벌크	18Km	91,840	3,955	363,227,200
플라이애쉬	벌크	76Km	189,280	565	106,943,200
모래	덤프	21Km	53,550	15,935	853,330,800
합계					1,323,501,200

R Point에서 A, C, F 공장으로부터 원료를 공급받을 경우 운반비는 16억 8천 9백만 원이며, S Point에서 공급받을 경우에는 13억 2천 3백만 원으로 S Point에서 3억 6천 5백만 원의 운반비용이 절감된다. 따라서 Steiner Point로 이동만 하더라도 약 22%의 운반비 절감 효과를 얻게 된다.

5.2.2 Weighting을 감안한 운반비 계산

레미콘 제조에 필요한 원료는 제품의 배합 규격에

따라 사용량이 달라지기 때문에 원재료별 차량의 운반 대수에도 차이가 있다. 표 4를 보면 년 간 Cement는 B. C. T 차량으로 3,955대, Fly-Ash는 565대 그리고 모래는 덤프트럭으로 15,935대가 필요하다. 이것을 가중치로 적용하고, 이때의 수정된 Steiner Point S'를 찾으면 다음과 같다.

그림 5에서 ΔFCA 의 각 변의 길이가 $a=34\text{km}$, $b=87\text{km}$, $c=89\text{km}$ 이고, Steiner Point를 S, 각 꼭짓점에서 S까지의 거리를 ℓ , m , n 이라 하였다.

$\ell(F)$, $m(C)$, $n(A)$ 의 각각의 Weighting α , β , γ 의 비는 $1(\alpha, \text{Fly-Ash}) : 7(\beta, \text{Cement}) : 28(\gamma, \text{모래})$ 이 되고, 이때 삼각형의 성립 조건을 확인하면,

$1(\alpha) \times 34(a) + 7(\beta) \times 87(b) < 28(\gamma) \times 89(c) = 34 + 609 < 2,492$ 가 되어 두 변의 합보다 한 변이 더 크므로 삼각형이 성립할 수 없다. 이 경우에는 3.2절의 2)에서 설명하였듯이 수정된 Steiner Point S'는 Weighting이 상대적으로 큰 n branch에 접속된 점 A(S')가 된다. 따라서 B/P의 위치가 A(S')에 있고, 골재 운반단가를 산지 내부에서 공급하는 기준인 1,000원/m³을 적용하여 이때의 운반비를 계산하면 다음 표 7과 같다.

Table 7. Calculation of transport cost from point S'

원료	차량	거리 (Km)	요금/대 (원)	대수	합계(원)
시멘트	벌크	34Km	118,720	3,955	469,537,600
플라이애쉬	벌크	89Km	211,120	565	119,282,800
모래	덤프	자가	17,000	15,935	270,898,667
합계					859,719,067

B/P의 위치가 점 A(S', 골재 산지 내부)에 위치한 경우 년 간 운반비는 8억 5천 9백만 원으로 R Point에서 공급받을 때보다 8억 2천 9백만 원 운반비가 절감된다. 레미콘 배합 비는 골재의 사용 비중이 높기 때문에 Weighting을 감안한 수정된 Steiner Point를 적용하여 B/P의 위치를 선정할 경우 전체 운반비는 약 49% 절감되고, 여기에 자갈의 운송비용까지 포함한다면 약 60%에 이른다. 이렇기 때문에 B/P의 설치 위치는 대단히 중요하다.

6. 결 론

본 논문은 원료 수급지점으로부터 레미콘 공장까지 세 지점을 기하학적으로 가장 짧게 연결하는 Steiner Tree 이론과 여기에 Weighting(가중치)을 감안한 수정된 Steiner Point를 적용하여 원료 운송 비용이 최소화되는 B/P의 최적 위치 선정 기법을 제시하였다.

B/P의 위치가 최적화될 경우 수송 거리가 단축됨으로써 운반비용 절감과 동시에 생산원가의 경쟁력을 확보할 수 있고, 또한 운반 시간이 단축되면 원료 저장 설비를 최소화할 수 있기 때문에 설비 투자비용 절감 역시 가능하다. 하지만 본 논문에서는 B/P의 최적 위치를 선정하는 문제에 대하여 단지 원재료의 수급에 따른 운반비만을 계산하였기 때문에 향후 원재료 및 제품의 운반단가, 운반거리, 통행여건(통행료, 차량 정체 등), 제품 공급반경의 한계(생산 90분 이후 경화), 공사현장의 위치 및 변화, 그리고 그 지역의 수요 전망 등, 이를 종합적으로 반영할 수 있는 알고리즘에 대한 연구 및 개발이 필요하다.

현실적으로 Steiner 이론을 적용하기에는 아직 제약 조건과 한계점이 많지만, 최단거리(최소비용) 경로를 찾고 여기에 가중치를 적용하여 최적화할 수 있다는 사실을 확인한 것만으로도 B/P 건설시 우선적으로 검토되어야 한다.

본 논문에서 제시된 Steiner 이론은 각 공장 믹서트럭의 중앙 집중배차 시스템, 예비품 보관 자재 창고의 최적위치선정 등에도 응용이 가능하며, 또한 동력 부하의 전력손실, 전압강하, 배선거리 최소화를 위한 M. C. C Panel의 위치선정, 공장 및 초고층 빌딩의 부하중심을 세 군데로 할 경우 2차 변전실의 위치선정 등 전기 분야에서도 다양하게 활용될 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.

References

- [1] KS F 4009, Ready-Mixed Concrete, Korea Standards Association, 2011.
- [2] Korea Ready Mixed Concrete Industry Association homepage (www.krmcia.or.kr).
- [3] Seong-Deog Yang, W.K.Lyu, Sang-Joong Lee "Optimal Location of Mail Distribution Center using Steiner Tree", KIIE Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers(Jnl of KIIE, ISSN 1229-4691), vol 22, No 9, pp 82-87 , Sep 2008.
- [4] Sang-Joong Lee, Jun-Young Yoon, Ju -Chul Kim, "Cost Reduction through Shortest Path Connection of Power Lines", Proceedings of 2010 Fall Conference of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers(KIIEE), 1-B-6, pp 44-46, COEX, Seoul, Sep 29, 2010.
- [5] Sang-Joong Lee, "Location of Strategic Military Base Minimally Connecting Three Frontlines", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology(ISSN 1598-9127), vol 16, No 3, pp . 250~254, Jun 2013.
- [6] Kwon-Yeol Ha, Jeong-Kyun Lim, Ju-Chul Kim, Sang-Joong Lee, "Optimal Location of Batcher Plant", Proceedings of 2013 Spring Conference of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers(KIIEE), 2-B-36, pp 248-249, Hotel Inter-Burgo, Wonju, May 29, 2013.
- [7] Gene-Que Lee, Sang-Joong Lee, "Optimal Location of Power Office using Path-weighted Steiner point", Proceedings of 2015 Spring Meeting of Smart Grid Section of the Korean Institute of Electrical Engineers(KIEE), Coex, Seoul, Korea, May 15, 2015, pp 77-79.
- [8] Jingcheng Tong ; YAP S. Chua "The Generalized Fermat's Point" Mathematics Magazine vol. 68, NO.3, pp.214-215, 1995.

◇ 저자소개 ◇



하권열 (河權烈)

1973년 10월 5일생. 서울경신고등학교 졸업. 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2015년 서울과학기술대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997~2001년 (주)삼표산업 골재 설비관리팀. 2001~2003년 케이아이티(주) 자동화 사업부. 2003~2010년 (주)삼표산업 레미콘 설비팀. 2010년~현재 (주)삼표산업 설비기획 설비2팀 차장.



이상중 (李尙中)

1955년생. 부산공업고등전문학교 전기과 5년 졸업. 성균관대학교 전기공학과 졸업. 충남대학교 대학원 졸업(박사). 1987~1988년 PSEC 수료(Power System Engineering Course, GE Research Center in Schenectady, NY). 1976년 한국전력 입사. 1988~1996년 한전전력연구원 계통연구실. 1995년 한전전력연구원 수화력발전연구실 부장. 1996년 한전보령화력본부 복합시운전, 제어계측부장. 1998년~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 교수.